

선박평형수 관리를 위한 통합정보시스템 구축

김은찬[†] · 오정환 · 이승국

한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

Establishment of Integrated Information System for Ballast Water Management

Eun-Chan Kim[†], Jeong-Hwan Oh and Seung-Guk Lee

Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Daejeon 305-343, Korea

요 약

IMO 선박평형수 관리 국제협약의 원활한 이행을 위해서는, 선박평형수와 관련된 다양한 정보의 수집과 관리가 필요하다. 선박평형수 위해도평가 및 국외의 선박평형수 정보시스템을 바탕으로 국내 선박평형수 관리 통합정보시스템을 구축하였다. 본 정보시스템은 선박평형수 관리에 필요한 다양한 정보들을 구분하여 4개의 데이터베이스(DB)로 선박운항 DB, 선박평형수 DB, 항만별 환경 DB 및 생물 DB로 구성하였다. 선박운항 DB는 항만운영정보시스템(Port-MIS) 자료를 통해 구축하고 있으며, 선박평형수 DB는 협약이 발효되기 전이기 때문에 Port-MIS 자료로 부터 화물물동량을 통한 추정식에 의해 구축하고 있다. 항만별 환경 DB 및 생물 DB는 참고문헌, 기존 모니터링 자료 및 실측 모니터링 자료들을 통해 구축해 가고 있다. 이러한 자료들을 바탕으로, 본 정보시스템은 각종 선박평형수 관련 정보의 검색, 통계자료 분석 및 위해도평가까지 수행할 수 있으며, 협약 발효시 국내 선박평형수 배출 및 항만 관리에 활용될 수 있는 관리 통합정보시스템의 역할을 충분히 수행할 수 있을 것이라 판단된다.

Abstract – Collection and management of various information related to the ballast water are the essential components for the efficient implementation of the IMO Ballast Water Management Convention. Based upon the ballast water risk assessment and information system developed by other states, regions or even at global level, an integrated information system has been established to be applied to our domestic ports. The integrated information system is composed of four DataBases (DB) which are the Shipping DB, Ballast water DB, Port Environment DB and Species DB. The Shipping DB has been established based on the data collected from the Port Management Information System (Port-MIS). For the Ballast water DB, Ballast water has only been estimated by the loading/unloading of the cargoes as the convention has not come into effect yet. The Port Environment DB and Species DB are being established based on the reference documents and existing and newly collected monitoring data. From these DB, the integrated information system will be able to provide a base for the information search, statistic analysis and risk assessment of ballast water. Once the convention comes into effect, this integrated information system will be applied to manage the domestic ballast water discharge and also the port management.

Keywords: Ballast Water(평형수), IMO(국제해사기구), Ship(선박), Species(생물), Environment(환경), Information System(정보시스템)

1. 서 론

선박의 복원성 확보를 위한 무게중심 유지 및 좌우 균형 조정에 사용되는 선박평형수는 무엇보다 선박의 안전 운항에 필수적 요소이다. 전 세계 국가 간 교역의 90% 이상이 해상 운송에 의해 이루어지고 있으며, 세계적으로 이동하는 해상물동량은 2010년 연간 80억 톤을 넘어섰다. 이에 따라, 전 세계적으로 이동하는 선박평형수도 연간 수십억 톤에 이르고 있다(MOMAF[2013]).

전세계적으로 매년 약 7,000 종의 생물이 선박평형수에 포함되어 이동되고 있다고 보고되고 있다. 이는 생태계 교란뿐만 아니라 연안 산업이나 다른 상업적 활동 또는 자원에도 큰 피해를 주고 있다. 미국에서만 해마다 약 1,380억불 규모의 경제피해가 외래 생물

미국에서만 해마다 약 1,380억불 규모의 경제피해가 외래 생물

[†]Corresponding author: eckim@kriso.re.kr

중에 의해 유발되는 것으로 추정되고 있다(IMO[2002]). 국내에서 선박평형수로 인해 외래 해양생물종이 최근 출현하였다는 내용은 단편적으로 발표되고는 있으나(Kim *et al.*[2005]), 정확한 연대와 그 피해 사례가 보고된 바는 없다.

국제해사기구(IMO)는 2004년 2월 선박평형수 관리 협약(원제: 선박평형수와 침전물 통제 및 관리를 위한 국제협약, International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediment)을 채택하고 비준절차를 진행 중이다. 우리나라를 비롯한 세계 각국은 본 협약의 원활한 이행을 위하여 선박평형수 처리설비 개발과 위해도평가 등 관련 대응 기술을 개발하고 법 제도 등을 준비해 오고 있다. 우리나라는 2009년 12월 10일 IMO 선박평형수 관리협약에 가입하였다. “선박평형수 관리법”(법률 제 8788호)은 2007년 12월 21일 제정되었는데, 이 법은 IMO 선박평형수 관리협약의 발효와 동시에 시행되는 것으로 되어 있다(Kim[2012]).

2012년 한 해 동안 우리나라 항만에 입항한 선박은 총 199,586 척이며, 이 가운데 외국에서 입항한 선박은 65,366 척이었다. 입항 선박들이 우리나라 항만에 배출한 선박평형수는 약 9천만톤으로 추정되며, 이 가운데 외국에서 입항한 선박에 의해 배출된 선박평형수는 약 4천3백만톤으로 약 48%를 차지하였다. 한편 우리나라에서 신고 외국으로 나간 선박평형수는 총 1억8천만톤으로서, 배출된 선박평형수 양의 4.2 배가 되는 셈이다(Oh *et al.*[2013]).

매년 우리나라 항만에 배출되는 선박평형수의 근원과 내용을 파악하고, 선박운항 정보를 종합적으로 분석하고 관리하기 위해서는, 선박평형수에 대한 데이터베이스를 구축하고 종합 정보시스템을 운영하는 것은 꼭 필요하다고 판단된다. 더 나아가 이러한 종합시스템은 IMO 관리협약에 의해 국가 간 지정된 항만을 운항하는 선박에 대해 선박평형수 관리를 면제해 주기 위한 검토 자료로서 항만 간 위해도평가를 위한 관련 정보 제공에 필수적 요소이다. 김은찬 등(Kim *et al.*[2014])은 전세계의 선박평형수 관련 정보의 현황을 조사하고, 선박해양플랜트연구소에서 구축한 정보시스템의 개요를 발표한 바 있다.

본 연구에서는 각종 위해도평가 방법 및 전세계의 선박평형수 관련 정보시스템을 검토하여, 국가의 선박평형수 관리를 위한 통합정보시스템을 설계하고 제작하였으며, 이렇게 구축된 선박평형수 통합정보시스템의 활용 방안을 제시하고 그 결과의 예를 보여주었다.

2. 선박평형수 위해도평가 및 정보시스템

2.1 선박평형수 위해도평가 방법 및 정보

IMO 선박평형수 관리협약의 A-4 규칙에 따라, 선박평형수 관리 의무를 면제시켜주기 위해서는 항만 간의 위해도평가를 실시하여야 한다. IMO에서 제정한 위해도평가 지침서에는 평가방법을 다음과 같이 3가지로 구분하고 있다(IMO[2007]).

- 환경매칭 위해도평가(Environmental matching risk assessment)
- 생물종·생물지리적 위해도평가(Species' biogeographical risk assessment)

- 종특이성 위해도평가(Species-specific risk assessment)

환경매칭 위해도평가는 항만 간의 환경 조건을 비교하는 것이다. 생물종·생물지리적 위해도평가는 자생종 및 비토착종을 비교해서 환경적 유사성을 평가하고 고위험 침입종을 평가하는 것이다. 종특이성 위해도평가는 식별된 목표종의 항만간 이동 및 정착 가능성을 종합하여 평가하는 것이다. 환경매칭 및 생물종·생물지리적 위해도평가는 생물지리적 특성이 서로 다른 항만간의 평가에 적절한 방법이고, 종특이성 위해도평가는 생물지리적 특성이 동일한 항만간의 평가에 적절한 방법으로 알려져 있다.

환경매칭 위해도평가는 제공항(선박평형수를 흡입할 항)과 수용항(선박평형수를 배출할 항)의 생물지리학적 지역과 환경 조건을 비교해서 제공항에서 발견된 생물종이 수용항에서 생존할 가능성을 판단하는 것으로, 환경매칭 위해도평가에서 고려하는 환경 조건으로는 수온, 염분, pH, DO, TSS, 영양염, 산소 등을 들 수 있다. 이들 자료는 계절별 및 수심별로 필요하고, 경우에 따라서는 조석 주기 전체에 걸쳐 필요하기도 하다.

생물종·생물지리학적 위해도평가는 제공항과 수용항 간에 현재 존재하는 비토착종, 원인불명종 및 유해 자생종의 생물지리학적 분포를 비교하는 것이다. 제공항과 수용항에서 중복되는 종이 있으면, 이는 해당 환경 조건이 동·식물의 분포를 허용할 수 있을 정도로 충분히 비슷함을 바로 보여주는 것이다. 생물종·생물지리학적 위해도평가를 위해서는 제공항 및 수용항의 자생종 목록과 비토착종 목록 등이 필요하다.

종특이성 위해도평가는 유해 생물종의 생활사와 생리적 내성에 대한 정보를 사용해서 그 생물종이 제공항에서 선박평형수를 통해 수용항으로 이동하여 정착할 수 있는 확률을 단계적으로 예측하는 것이다. 먼저 제공항에는 존재하지만 수용항에는 존재하지 않는 모든 생물종을 식별한 후, 침입 및 유해 가능성이 있는 생물종을 식별하여 목표종을 선정해야 한다. 다음으로 목표종에 대한 생활사 정보와 생리적 내성, 특히 각 생활 단계에서의 염분과 온도 정보 등이 필요하고, 목표종별 서식지 유형 정보가 필요하다. 목표종이 생애 주기 동안 서로 다른 서식지에서 살아갈 수 있다는 점도 염두에 두어야 한다. 종특이성 위해도평가 방법의 한 예로서, 호주 연방산업연구기구(CSIRO)에서 개발하고 적용한 식 (1)의 방법을 들 수 있다(Keith & Chad[2000], Lee *et al.*[2011a]).

$$Risk_{species} = p(\omega) \cdot p(\phi) \cdot p(\psi) \cdot p(v) \quad (1)$$

여기에서,

- $p(\omega)$: 제공항에서 유해 생물종이 존재할 확률(Level 0)
- $p(\phi)$: 선박에 유해 생물종이 유입될 확률(Level 1)
- $p(\psi)$: 선박 운항 중에 유해 생물종이 생존할 확률(Level 2)
- $p(v)$: 수용항에서 유해 생물종이 생존할 확률(Level 3)

한편, IMO는 지구환경기금(GEF)과 UN개발프로그램(UNDP)과 회원국들의 참여로 선박평형수 협약 제정과 이행을 지원하기 위해

GloBallast(Global Ballast Water Management Programme)라는 사업을 시작하였다. 이 사업의 일환으로 GloBallast는 상대적 총위해도 방법의 위해도평가 프로그램을 만들었는데, 여기에서 상대적이라는 것은 특정항의 위해도를 평가할 때 전체 항만 위해도 합계에 대한 비율로서 위해도를 평가한다는 것을 의미한다. GloBallast가 개발하고 한국 선박해양플랜트연구소(KRISO)에서 보완한 방법은 식 (2)와 같다(GloBallast[2003], Lee *et al.*[2011b]).

$$ROR = \frac{\overline{C1} + (\overline{C2} \times R1_{w4}) + \overline{C3} + (\overline{C4} \times R2_{w5})}{4} \quad (2)$$

여기에서,

ROR: 제공항에서 유해 생물종이 존재할 확률

$\overline{C1}$: 수용항에 입항한 모든 선박이 배출한 선박평형수 총 횡수 비율로 계산된 위해도 지수

$\overline{C2}$: 수용항에 입항한 모든 선박이 배출한 선박평형수 총 부피 비율로 계산된 위해도 지수

$\overline{C3}$: 항만환경 유사도에 따른 위해도 지수

$\overline{C4}$: 상대적 유해 생물종 위해도에 따른 위해도 지수

$R1_{w4}$: 선박평형수 탱크 크기에 따른 $\overline{C2}$ 에 대한 가중치

$R2_{w5}$: 운항 시간에 따른 $\overline{C4}$ 에 대한 가중치

위해도평가 방법에 따라 전세계의 주요항만에 대한 상대적 위해도를 평가하기도 하고 해당 항만간 위해도를 평가할 수도 있다. 또한, 입항하는 선박으로부터 유입되는 생물종의 현황을 통해 실시간 위해도평가를 수행할 수도 있고, 기존 자료들을 바탕으로 항만별 위해도평가에 대한 현황 분석도 가능하다. 상기 언급한 위해도평가 방법을 모두 적용하려면 다음과 같은 자료들에 대해 기존자료 및 일부 실시간 자료들이 필요하다고 판단된다.

- 선박평형수 배출 총량
- 선박평형수 총 배출 횡수
- 선박 및 운항 정보
- 선박평형수 탱크내 생물종 목록
- 전세계 주요항만 및 대상 항만에 대한 환경 정보

- 전세계 주요항만 및 대상 항만에 대한 생물종 목록
- 대상 항만에 대한 목표 생물종 목록 및 생활사 정보

2.2 전세계 선박평형수 정보시스템

전 세계에서 운용되고 있는 선박평형수와 관련된 자료는 외래 생물종 자료와 선박평형수 배출 자료 그리고 선박평형수 처리 기술 등 생산 목적과 관리 주체에 따라 여러 가지가 있다(GloBallast[2014]).

전 세계에서 운용되고 있는 선박평형수 관련 자료 가운데, 선박평형수 배출과 외래생물종에 관련된 데이터베이스 및 디렉토리를 보면 Table 1과 같다. 이는 전 세계 자료, 지역별 자료 및 국가별 자료로 구분하였고, 각각의 해당 홈페이지도 함께 표시하였다.

Table 1에 열거된 데이터베이스와 디렉토리에 대해 각각의 개요를 보면 다음과 같다.

(1) 수중 침입종 연구 목록(AIRD)

AIRD(Aquatic Invasions Research Directory)는 전 세계의 수중 침입생물을 다루는 것으로, 미국 메릴랜드에 있는 스미소니언환경연구센터(SERC)에서 주관하고 있다. 이는 외래생물종 연구를 수행하고 있는 여러 가지 국제기구를 통해 각국의 연구자들이 협력하여 운용하고 있는 것이다. 이 목록은 침입 생물종과 관련된 전문가, 연구물, 기술, 관리, 정책 등의 정보를 검색할 수 있는 인터넷 기반의 데이터베이스이다. 수중 침입종의 영향과 위해도평가, 선박평형수의 생태, 예방 및 처리 기술, 정책 및 관리의 4개 분야로 나뉘어 있다.

(2) 글로벌 침입종 데이터베이스(GISD)

GISD(Global Invasive Species Database)는 전 세계의 침입생물을 다루는 것으로, 글로벌 침입종 프로그램(GISP)에 의해 국제자연보존연맹(IUCN) 침입종 전문가 그룹에 의해 개발된 데이터베이스이다. 이는 수중 침입종 외에 육상 침입종에 더 큰 목표를 두고 개발된 것으로서, 예측 모델 등 관리 계획 수립에 유용하게 활용될 수 있는 데이터베이스이다.

Table 1. List of Databases and Directories for Ballast Water Management

	Directories or Databases	Home Page
Global Directories & Databases	Aquatic Invasions Research Directory (AIRD)	http://invasions.si.edu/aird.htm
	Global Invasive Species Database	http://www.issg.org/database/welcome/
	FAO Database on Introductions of Aquatic Species (DIAS)	http://www.fao.org/fishery/dias/en
	GloBallast Database (GLOBAL)	http://globallast.imo.org/index.asp?page=gef_interw_project.htm&menu=true
Regional Directories & Databases	Baltic Sea Alien Species Database	http://www.corpi.ku.lt/nemo/
	CIESM Atlas - New Exotic Species in the Mediterranean Sea	http://www.ciesm.org/atlas/index.html
National Directories & Databases	Australia - National Introduced Marine Pests Information System (NIMPIS)	http://www.marinepests.gov.au/Pages/default.aspx
	UK - Directory of non-native marine species in British waters	http://jncc.defra.gov.uk/page-2597
	US - National Ballast Water Information Clearing House	http://invasions.si.edu/ballast.htm
	US - National Exotic Marine and Estuarine Species Information System	http://invasions.si.edu/nis.htm

(3) 식량농업기구 수중생물 유입 데이터베이스(DIAS)

DIAS(Database on Introductions of Aquatic Species)는 전세계 어업 목적의 수중 생물에 대한 것으로서, UN 산하 식량농업기구(FAO)에서 개발한 데이터베이스이다. 당초에는 담수 물고기로부터 시작했으나, 현재에는 연체동물과 갑각류 그리고 해양 생물로 그 범위를 확대해 왔다. 일반적인 국내 이동에 대해서는 자료가 없고 어업이나 환경에 주요한 영향을 미친 국가간 이동에 대해서만 자료를 정리하고 있다.

(4) GloBallast 데이터베이스

IMO 주관으로 진행되는 GloBallast 사업의 일환으로 상대적 총 위험도 방법의 위험도평가 프로그램을 만들었는데, 이 프로그램에서 활용할 목적으로 전 세계 항만에 대한 환경 자료를 데이터베이스화 하였고, 생태적 지역별로 생물종 목록과 위험도 등급자료를 데이터베이스화 하였다.

(5) 발틱해 외래종 데이터베이스(BSASD)

BSASD(Baltic Sea Alien Species Database)는 발틱해에 들어온 해양 침입 생물에 대한 것으로서, 발틱해 해양생물 워킹그룹에 의해 운용되고 있다. 생물종 사전과 세부 해역별로 데이터베이스와 조사 결과의 검색이 가능하도록 되어 있다.

(6) CIESM 아틀라스 - 지중해 외래종

CIESM(Mediterranean Science Commission) 아틀라스는 지중해에서 확인된 침입 해양 생물에 대한 것으로 4권으로 구성되어 있는데, 1권은 어류, 2권은 갑각류, 3권은 연체동물, 4권은 수생식물 편이며, 각각 책임저자가 집필한 형태로 되어 있다. 지중해는 수에즈 운하를 통해 인도양과 태평양으로부터 들어오는 여러 생물종에 의해 생태계가 많이 교란되어 왔으며, 이제는 지브롤터 해협을 통해 열대 대서양의 생물종도 침입되고 있는 실정이다.

(7) 호주 국가 외래 해양생물 정보시스템(NIMPIS)

NIMPIS(National Introduced Marine Pests Information System)는 호주 정부가 운용하는 호주 해역의 외래 해양생물 정보시스템이다. 여기에는 호주에 유입된 외래 해양생물종과 향후 유입될 가능성이 높은 외래 해양생물종에 대한 정보를 모두 포함하여, 생물학 및 생태학 연구자에게 중 분포에 대한 정확한 정보를 제공하기 위해 구축한 것이다. 이 시스템은 또한 선박평형수의 관리 및 위험도평가에도 직접 사용되고 있다.

(8) 영국 비토착 해양생물종 디렉토리

영국 비토착 해양생물종 디렉토리(UK - Directory of non-native marine species in British waters)는 영국 수역의 외래생물종에 대한 정보를 제공하는 것이다. 현재 1997년 판이 발행되었는데, 생물종별로 유입 시기와 경로, 정착 사유, 분포, 환경 영향, 상업적 효과, 비용 효과 등이 수록되어 있다.

(9) 미국 국가 선박평형수 정보 신고센터(NBIC)

미국 NBIC(National Ballast Water Information Clearinghouse)는 1996년 미국 국가침입종법에 근거하여, SERC(Smithsonian Environmental Research Center)와 연안경비대(United States Coast Guard)가 공동으로 추진하는 프로그램이며, 미국의 상업 선박들에 대해 선박평형수 관리 실태 정보를 수집 분석하는 기능을 수행하고 있다. 또한, 미국 연안에 배출되는 선박평형수의 출처를 파악하고, 그 양을 정량화하고 있다. 연안 상태, 선종, 선박평형수 출처, 계절 등 다양한 변수를 고려하여 수집된 자료를 분석하고, 2년마다 연안경비대와 의회에 보고서를 제출하고 있다.

(10) 미국 해양 및 하구 외래종 정보시스템(NEMESIS)

NEMESIS(National Exotic Marine and Estuarine Species Information System)은 미국 연안 수역의 비토착 생물종에 대한 정보시스템으로서, 스미소니언환경연구센터(SERC)에서 개발하고 운용하고 있다. NEMESIS는 식물, 어류, 무척추 동물, 원생 동물과 조류까지 약 500종의 유입종에 대해 언제, 어디서, 어떻게 유입되었는지에 대한 정보와 생물학적·생태학적 정보를 제공하고 있다.

위와 같이 공개된 주요 정보시스템을 보면, 대부분 외래 생물종의 목록과 그 특성에 집중되어 있음을 알 수 있다. 즉 조사된 총 10개의 정보시스템 가운데 8개가 국가, 지역해 및 세계적으로 확인된 외래 생물종 자료임을 알 수 있다. 이러한 정보시스템들은 선박평형수로 인한 외래생물종의 유입 현황과 그 피해 현황을 파악하기에 좋은 정보들을 제공하는데 필수적인 자료라고 판단된다.

미국 국가 선박평형수 정보 신고센터(NBIC)는 선박평형수 출처 및 배출량 자료를 구축하고 있으나, 미국의 항만에 국한되어 있다. 이러한 자료들은 국가별로 선박운항 정보를 통한 선박평형수 출처 및 선박평형수 신고서 접수를 통한 배출량 자료들을 수집하고 관리해야 한다. 우리나라는 협약 발효와 함께 국내 선박평형수 관리법이 시행되는바, 현재로는 선박평형수 신고서 접수를 통한 직접적인 방법으로 선박평형수 관련 정보들을 수집할 수 없는 실정이다. 현재 우리나라는 선박평형수와 선박 화물 변동량과의 관계를 선종별로 조사하여 선박평형수 배출량을 추정하고 있으며(Choi *et al.*[2009]), 연례보고서를 발간하고 있다(Oh *et al.*[2013]). 이를 위해 해운항만물류정보센터(SP-IDC)로부터 선종별 화물 물동량자료들을 확보하고 관리하고 있다.

GloBallast 데이터베이스는 전세계의 주요 항만 환경 특성자료 및 생물종 목록들이 수록되어 있다. 하지만 이러한 자료들은 특정 프로그램을 위해 일시적으로 수집된 자료들로 구성되어 있으며, 평가의 신뢰성을 높이기 위해서는 해당 국가별로 자료들을 수집하고 갱신할 필요가 있다. 특히, 인근 국가간 선박평형수 처리 면제를 위한 위험도평가 수행을 위해서는 항만 환경 특성 및 생물종을 고려한 평가 방법뿐만 아니라 무엇보다도 신뢰성 있는 자료들을 체계적으로 수집하고 관리하는 것이 중요하다.

3. 선박평형수 관리 통합정보시스템 구축

3.1 시스템 구성요소

선박해양플랜트연구소(KRISO)는 선박평형수 관련 연구개발을 통해 한국-중국 양국간 선박평형수 처리면제를 위한 위해도평가를 수행해 왔으며, Globallast 프로그램을 이용하여 전세계 주요항만에 대한 국내 주요항만들의 상대적 총 위해도를 평가한 바 있다. 또한, 선박평형수 유입에 따른 항만 생태계 보호와 효율적인 항만 운항 관리를 지원하기 위해 선박평형수 외래생물종 유입에 따른 위해도평가 뿐만 아니라 선박평형수 관련 정보들을 종합적으로 관리하기 위해 선박평형수 관리 통합정보시스템을 구축하였다.

본 선박평형수 관리 통합정보시스템은 선박평형수 위해도평가를 위한 선박평형수 배출량 자료, 배출 횟수, 항만별 환경 특성 및 생물종 자료 등을 포함하고 있으며, 선박 운항관리를 위해 선박 정보, 운항정보 및 선박평형수 이력에 관한 자료들도 포함하고 있다. 자료 특성에 따라 기존 참고문헌 및 조사자료들로부터 관련 정보를 입력하도록 하고 있으며, 경우에 따라 실시간으로 입항하는 선박 정보 및 선박평형수 탱크내 환경 및 생물종 정보도 포함할 수 있도록 하였다. 필요한 정보들에 대해 유사한 관련 자료들을 각각의 테이블로 구성하였다(Table 2).

3.2 시스템 설계

Table 2의 각각 테이블들은 편의상 분리되어 관리하고 있지만, 종합적인 결과를 도출하기 위해서 서로간의 유기적인 관계를 도출하고 공통적으로 사용하고 있는 테이블들을 공유할 수 있도록 선박평형수 관리 통합정보시스템을 설계할 필요가 있다. 이를 위해 각각의 테이블들을 정리하여 선박운항 DB, 선박평형수 DB, 생물 DB, 환경 DB로 크게 4개의 주요 데이터베이스로 구성하여 시스템

을 설계하였다(Fig. 1).

선박운항 DB는 크게 선박정보, 항만정보, 선박운항 정보로 구분하였다. 선박정보는 선명, 선종, IMO 번호 선주, 국적, 총톤수(GT), 선박평형수 총용량 등 선박이 가지고 있는 고유한 특성을 나타낸다. 항만정보는 항만 위치, 이름, 해당 국가, 해당 광역생태계 (LME)의 정보들을 포함한다. 선박운항 정보는 출발항, 도착항, 목적항, 화물종류, 화물 처리량(양하, 적하) 등의 정보를 포함한다.

선박평형수 DB는 선박평형수 신고서 접수를 통해서 직접 선박평형수 정보를 획득할 수 있는 실선 선박평형수 배출정보, 배출이력 및 흡입정보를 포함한다. 또한, 간접적으로 선박평형수 배출량을 추정하기 위하여 화물정보, 화물-선박평형수 관계와 관련된 정보 및 추정된 배출량 정보들을 포함한다. IMO 국제협약 발효시, 실시간으로 선박평형수 신고서 접수를 통해 관련 정보를 바로 활용할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

생물 DB는 선박평형수 탱크로 유입될 수 있는 동물플랑크톤, 식물플랑크톤, 저서생물 및 박테리아에 대한 실측자료와 항만내에 서식하는 생물종에 대한 실측자료와 문헌자료 및 유관기관의 기존 모니터링 자료들을 포함한다.

환경 DB는 항만내 환경특성 자료들로 수온, 염분, pH, Chl-a, 영양염, 총부유물질(TSS), 강수량 자료들에 관한 실측자료와 문헌자료 및 유관기관의 기존 모니터링 자료들을 포함한다.

또한, 선박평형수 관리 통합정보시스템은 선박평형수 배출 및 항만 관리에 실질적으로 적용할 수 있도록 Fig. 2에 보인 것과 같이 DB부분 외에 입력 부분과 적용 부분으로 구성되어 설계하였다. 입력 부분은 각각의 DB를 구축해 가는 방법의 일부를 보여주고 있으며, 적용 부분은 통계량 분석과 위해도평가 등 결과 활용 측면을 보여준다(Kim *et al.*[2014]). 선박운항 DB는 국토해양부에서 운용하는 해운항만물류정보센터(SP-IDC)의 항만운영정보시스템(Port-

Table 2. Tables of Integrated Information System

순번	자료명	순번	자료명	순번	자료명
1	생물구분코드 정보	18	실선 원생생물 정보	35	선박 정보
2	생물종이미지 정보	19	실선 환경정보	36	선명 및 각종 부호
3	실측 식물플랑크톤 정보	20	실선 박테리아 정보	37	선주 및 국적
4	실측 동물플랑크톤 정보	21	실측 해양환경 정보	38	선박평형수 처리 장치
5	실측 저서생물 정보	22	실측 정점 정보	39	입항 항만
6	실측 원생생물 정보	23	참고문헌 해양환경데이터	40	입항 이력
7	참고문헌 식물플랑크톤 정보	24	참고문헌 메타정보	41	선박 운항 정보
8	참고문헌 동물플랑크톤 정보	25	참고문헌 정점 정보	42	선박평형수 탱크 운용
9	참고문헌 저서생물 정보	26	국가 연안정지 데이터	43	선박평형수 배출
10	참고문헌 원생생물 정보	27	국가 연안정지 관측 정보	44	실선 선박평형수 배출정보
11	항만별 종출현 현황 정보	28	국가 강수량데이터	45	실선 선박평형수 배출이력
12	위해도생물 등급 정보	29	국가 해양환경조사 데이터	46	실선 선박평형수 취수
13	유해종 비교지수 정보 C4	30	국가 해양환경조사 정점 정보	47	화물 정보
14	실선 선박정보	31	항만환경유사도 초기 Input	48	선박평형수 배출량 추정
15	실선 식물플랑크톤 정보	32	항만별 환경유사도지수 C3	49	화물-선박평형수 관계
16	실선 동물플랑크톤 정보	33	항만환경유사도 파라미터 정보	50	BWRA C1C2
17	실선 저서생물 정보	34	항만 정보		

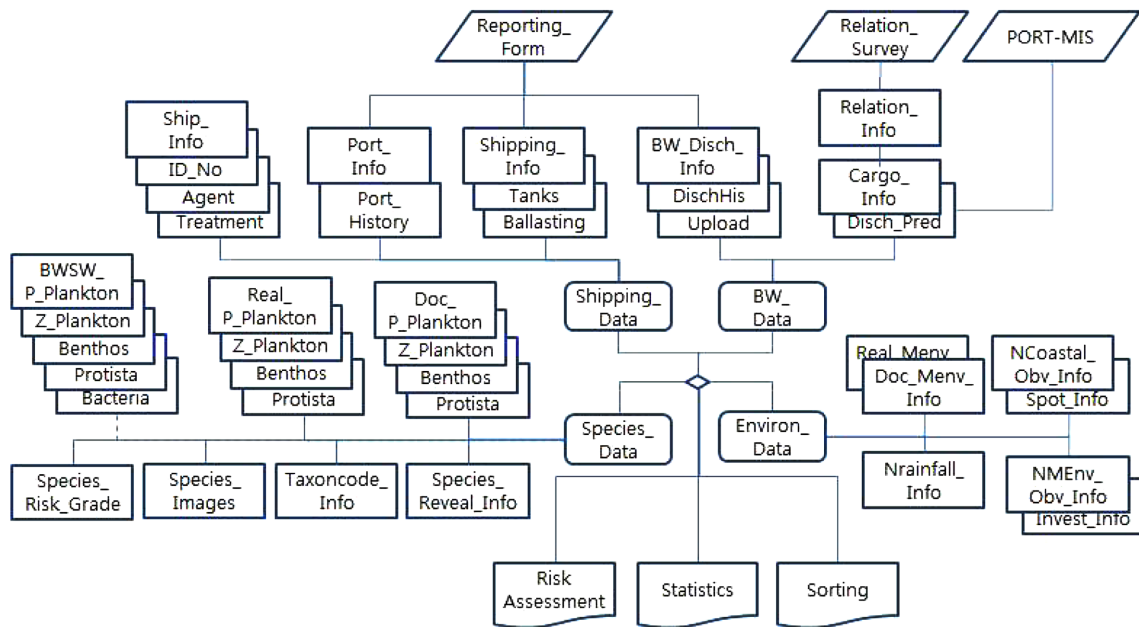


Fig. 1. Relations between the database and tables in the integrated information system.

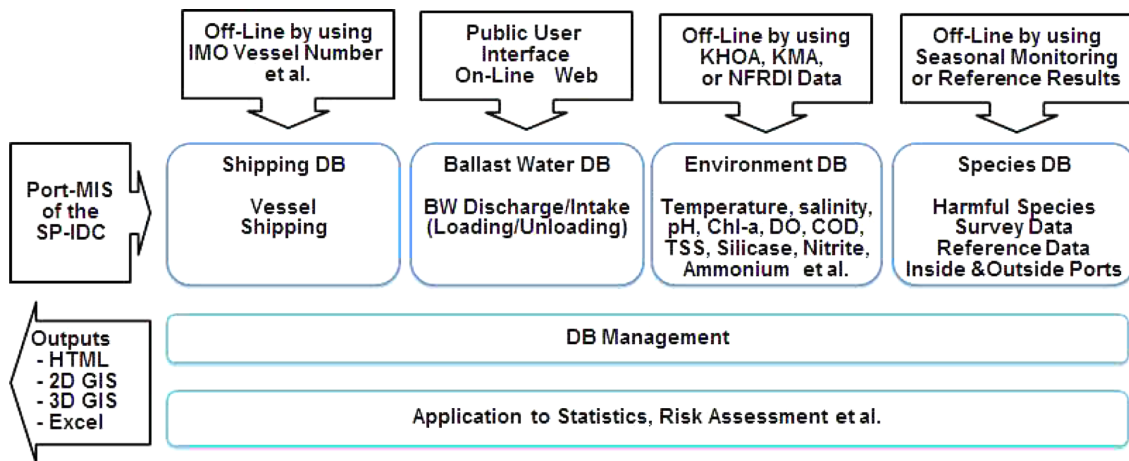


Fig. 2. Structure of integrated information system.

MIS) 자료를 IMO 선박 번호별로 활용하도록 하였다. 선박평형수 DB는 선박 운항자가 온라인 또는 오프라인으로 제출하는 선박평형수 신고서를 수용하도록 하였다. 현재는 IMO 선박평형수 국제 협약 발효전이라, Port-MIS 자료로부터 물동량 자료를 추출하여 선박평형수 배출량을 산정할 수 있도록 하였다. 환경 DB와 생물 DB는 GloBallast 데이터베이스는 물론 국내 여러 기관에서 구축한 자료를 인용하도록 하였으며, 필요시 추가 조사를 하여 입력할 수도 있다.

특히, 각각의 DB 및 테이블을 연계하여 자료 검색, 통계분석 및 위해도평가가 수행될 수 있도록 광범위하게 설계하였다(Kim *et al.*[2008]). 온라인을 통해 관련 정보 및 분석 결과 확인이 가능하며, 선박평형수 위해도평가 및 관련 통계 분석 결과들은 사용자가 쉽게 파악하고 도식화할 수 있도록 웹 GIS 및 표 형식으로 결과들을 도출할 수 있다. 다음은 선박평형수 관리 통합정보시스템의 주요 결과들을 예시하였다. 조회기능으로 선박평형수 배출량 정보 조회

(Fig. 3), 항만 환경 정보 조회(Fig. 4)와 생물 정보 조회(Fig. 5) 결과들이 도출된다.

이렇게 설계된 선박평형수 관리 통합정보시스템은 항만별 선종별 선박평형수 배출량 등의 추정과 항만별 위해도평가를 위해 사용되도록 하였다. 선박평형수 배출량 추정은 정부의 선박평형수 배출 연례보고서를 비롯하여 각종 정책을 수립하고 집행하는데 기본적으로 사용되는 자료이다. Fig. 6은 그 한 예로서 2012년 한 해 동안 국내 항만에 배출된 선박평형수의 양을 선종별로 구분한 것이다. 선박평형수 위해도평가는 대상이 되는 인접 국가 항만 간에 위해도가 적음을 입증하기 위한 것으로서, 정부가 선박평형수 처리를 면제해 주기위해서는 필수적으로 수행해야 하는 평가 절차이다. Fig. 7은 GloBallast 방법을 일부 보완하여 수행한 위해도평가 결과의 한 예로서, 인천항에 큰 영향을 주는 외국 항만들의 총위해도 결과를 보여주고 있다.

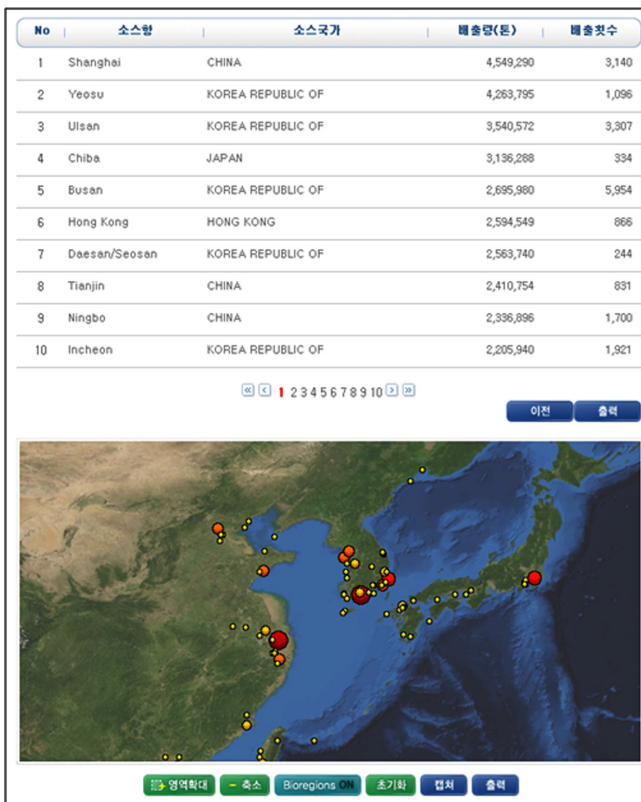


Fig. 3. An example of sorting for the ballast water discharge information.



Fig. 4. An example of sorting for the environmental information.

3.3 정보 수집 및 DB 현황

선박운항 DB는 선박이 가지고 있는 고유한 특성과 선박운항에 따라 새롭게 생성되는 정보들이며, 문헌조사나 선박관련 기관을 통

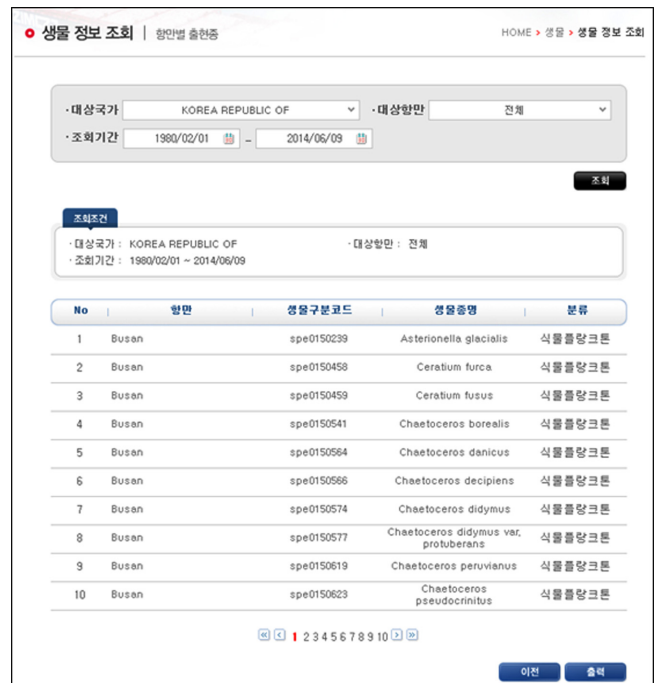


Fig. 5. An example of sorting for the species information.

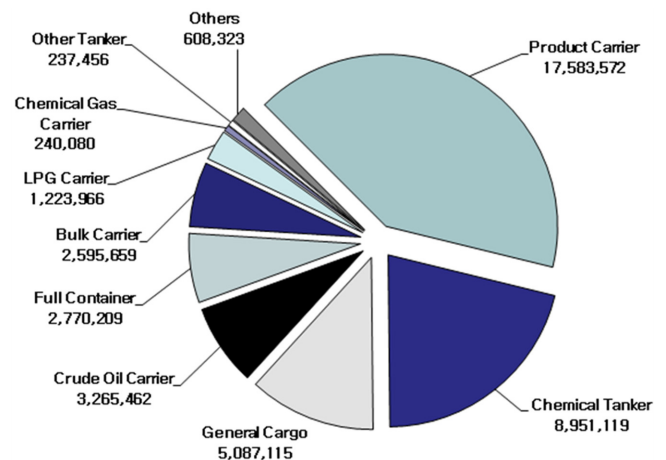


Fig. 6. An example of ballast water characteristics for the amount of ballast water discharge by various types of ships of 2012.

해 일부 자료들을 수집하였다. 대부분의 선박정보 및 선박운항 정보는 국토해양부에서 운영하는 해운항만물류정보센터(SP-IDC)의 항만운영정보시스템(Port-MIS)로부터 자료를 수집하여 DB를 구축하고 있다. 선박운항 DB 및 선박평형수 DB의 일부 자료들은 선박평형수 관리 협약이 발효되면, 입항하는 선박으로부터 선박평형수 신고서 접수를 통해 실시간으로 자료들을 획득할 수 있다. 하지만, 현재는 Port-MIS 자료로부터 선박정보, 선박운항 정보 및 화물정보를 수집한 자료들로부터 선박평형수 배출량을 산정할 수 있도록 선박평형수 DB와 연계되어 있다.

생물 DB는 선박평형수 탱크 및 항만내 생존하는 미생물 및 박테리아에 대한 정보들로 선박평형수 위해도평가 및 관리를 위한 목

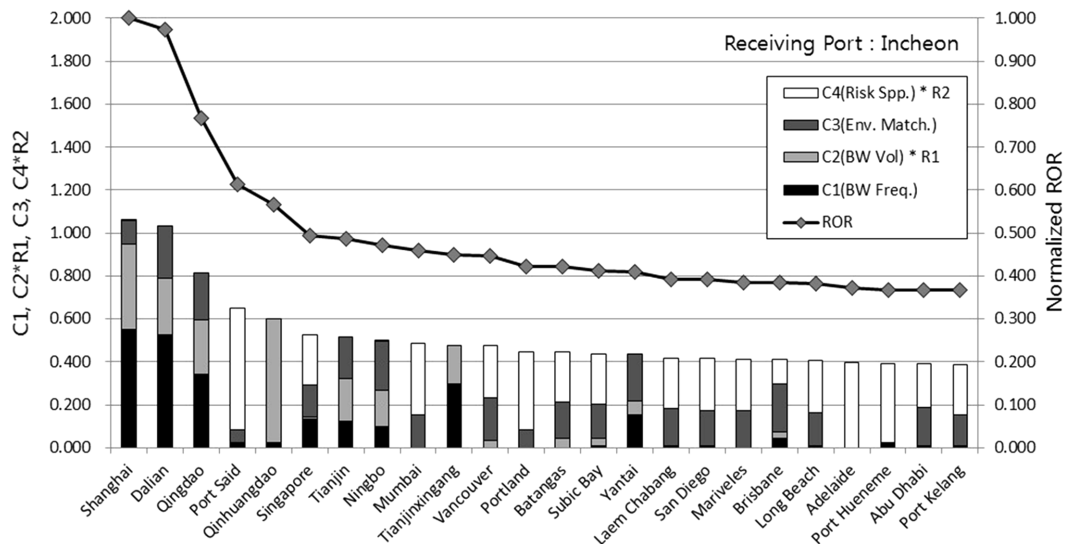


Fig. 7. An example result of port risk assessment by the modified globallast method for incheon port.

적으로 얻어진 실측자료와 기존 모니터링 자료를 포함한 문헌자료들로부터 관련 자료들을 수집하였다. 특히, 선박해양플랜트연구소와 한국해양과학기술원은 선박평형수 관련 연구사업을 통해 주요 국제항만으로 입항하는 선박평형수 탱크 및 항만내 미생물 및 박테리아 자료들을 조사하였으며, 이를 DB에 입력하였다. 대학이나 업체에서 연구 또는 사업 목적으로 조사한 항만내 생물 자료들도 일부 활용하였다. 국가 해양 모니터링 관련 자료들로 국립수산업과학원에서 정선해양조사들도 일부 활용 가능하나 대부분 항만내보다는 항만외에서 조사가 이루어지거나 생물종 목록 조사보다는 농도를 측정하고 있어 직접 활용하기에는 부적합하다. 또한, 선박평형수 위해도평가를 위해 기존 Globallast DB로부터 세계의 주요 항만의 생물종 목록도 본 시스템에 포함하였다.

환경 DB는 항만내 환경특성 자료들로 생물 DB와 마찬가지로 선박평형수 위해도평가 및 관리를 위한 목적으로 얻어진 실측자료와 기존 모니터링 자료를 포함한 문헌자료들로부터 관련 자료들을 수집하였다. 선박해양플랜트연구소와 한국해양과학기술원은 선박평형수 관련 연구사업을 통해 주요 국제항만 및 연안에서 환경특성자료들을 조사하였으며 이를 DB에 입력하였다. 특히, 해양환경관리공단에서 측정하고 있는 해양환경측정망 및 해양수질자동측정망 자료와 국립수산업과학원 연안정지조사로부터 항만내 환경특성자료, 기상청 자료로부터 정보를 추출하여 입력하였다. 또한, 선박평형수 위해도평가를 위해 기존 Globallast DB에서 세계의 주요 항만의 환경정보들을 본 시스템에 포함하였다.

현재 구축된 DB 자료 입력 현황으로 Port-MIS 자료와 관련 기관에서 입수된 선박운항 DB는 선박정보 12,801개, 선박운항 정보 803,462개, 항만정보 12,438개가 입력이 되어 있다. 이와 연계하여 화물 물동량과 선박평형수 배출량과의 관계를 통해 추정된 선박평형수 DB는 9,853개가 입력되어 있다. 생물 DB는 생물정보 7,624개, 실측 생물 모니터링 정보 1,740개, 기존 생물 모니터링 정보 1,367개, 선

박평형수 탱크내 생물정보 695개가 입력되었다. 환경 DB는 국내외 230개 항만에서의 환경정보, 국내 실측 항만 환경정보 108개, 기존 모니터링 정보 3,390개 및 국가 강수량 정보 62,084개가 입력되었다.

선박운항 DB는 Port-MIS 자료로부터 입항 선박에 대한 관련 정보들이 확보 가능함으로 상대적으로 많은 자료들을 구축하고 있다. 하지만 선박운항 정보는 선박이 입항할 때마다 새롭게 갱신되는 정보임을 감안한다면, Port-MIS와 본 시스템을 연계함으로써 실시간으로 자료들이 활용될 수 있도록 해야할 필요가 있다. 생물 DB는 기존 모니터링 자료나 참고문헌을 통해 생물정보에 대한 자료가 다수 구축되어 있지만, 상대적으로 선박평형수 탱크내 생물정보와 항만내 생물정보 자료가 부족한 실정이다. 선박평형수를 통해 외래생물종의 유입 여부 및 국내항만에 정착가능성 등을 파악하기 위해서는 지속적인 조사가 이루어져야 할 필요가 있다. 또한, 지속적인 체계적인 모니터링 및 조사를 통해 국내 항만에 선박평형수에 의해 유입되는 외래생물종 및 목표종에 대한 과학적인 분석과 효과적인 관리가 필요하다. 환경 DB는 항만 내외에서 유관 기관에서 수행하고 있는 국가모니터링 자료들이 활용 가능하므로 추후 이와 연계하여 DB를 구성함으로써 활용도를 극대화 할 수 있을 것으로 판단된다. 반면, 항만내 서식하는 해양 미생물 및 박테리아와의 연계성을 규명하기 위해서는 생물조사와 연계한 동시시간대에 실측한 환경자료 확보도 필요하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구를 통해 선박평형수 관리 통합정보시스템을 도출하고 구현하였다. 이를 위해 정보시스템이 가장 필요하다고 판단되는 위해도평가 방법을 고찰하고 필요한 정보 목록을 분석하고 정리하였다. 또한, 가능한 한 기존의 자료를 활용하기 위해 전세계의 선박평형

수 관련 정보시스템을 분석하였는데, 대부분의 자료는 각 국가, 지역 또는 전세계의 외래 생물종의 목록과 그 특성에 집중되어 있음을 알 수 있었다. 선박평형수 배출량 자료는 각국이 스스로 구축해 나가야 하는 것으로, IMO 선박평형수 관리 국제협약이 발효되면 입항 선박으로부터 선박평형수 신고서 접수를 통해 직접 입수가 가능하나 현재는 화물 변동량 정보를 바탕으로 선박평형수 배출량을 추정하고 있다.

본 정보시스템의 데이터베이스는 크게 네 가지로 i) 항만별 입항 선박의 기본 체원 및 운항 자료를 포함하는 선박운항 DB, ii) 선박별 선박평형수 출처 및 배출량 자료를 포함하는 선박평형수 DB, iii) 항만별 환경 특성 자료를 포함하는 환경 DB, iv) 항만별 미생물 및 박테리아 목록 및 생물 특성 자료를 포함하는 생물 DB로 나누어 설계하였다. 선박운항 DB는 해운항만물류정보센터(SP-IDC)의 항만운영정보시스템(Port-MIS)로부터 자료를 수집하여 DB를 구축하고 있으며, 화물 변동량을 이용하여 선박평형수 배출량을 산정함으로써 선박평형수 DB를 구축하였다. 항만별 환경 DB 및 생물 DB는 GloBallast DB를 근간으로 하여 구축되며, 국내 항만에 대한 자료들은 문헌조사 및 기존 모니터링 자료들을 활용하고 있으나 향후 이의 활용을 극대화 할 필요가 있다. 또한, 선박평형수 유입에 따른 외래생물종 및 목표종 선정 뿐만아니라 위해도평가를 위한 과학적이고 객관적인 자료들을 제공할 수 있도록 선박평형수 탱크 및 항만내 환경, 미생물 및 박테리아 정보들에 대한 모니터링이 지속적으로 체계적으로 수행되어야 한다.

본 정보시스템은 관련 정보의 DB 기능 외에, 선박평형수 배출신고서를 접수, 각종 통계자료를 분석하며, 나아가 위해도평가까지 수행할 수 있는 선박평형수 관리 통합정보시스템으로, IMO 선박평형수 관리 국제협약의 원활한 이행과 과학적이고 객관적인 자료들을 제공하는데 충분한 역할을 수행할 수 있을 것이라 판단된다.

후 기

이 논문은 선박해양플랜트연구소에서 수행한 선박평형수 유해수중생물 모니터링장치 개발 연구의 일부이다.

References

- [1] Choi, H.S., Kim, H.S. and Lee, S.G., 2009, "An estimation of the amount of ship's ballast water to be discharged at korean major ports", Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol.12, No.4.
- [2] GloBallast, 2003, Ballast Water Risk Assessment: User Guide (1.4) for the BWRA Database / GIS System, GloBallast report, 53.
- [3] GloBallast, 2014, <http://globallast.imo.org/index.asp?page=bwdirectories.htm>.
- [4] IMO, 2002, Stopping the Ballast Water Stowaways, Brochure of the Global Ballast Water Management Programme, 2nd edition.
- [5] IMO, 2007, Guidelines for risk assessment under Regulation A-4 (G7), IMO Resolution MEPC.162(56).
- [6] Keith, R.H. and Chad, L.H., 2000, Risk assessment framework for ballast water introductions - Volume II, Report of CSIRO marine research.
- [7] Kim, E.C. *et al.*, 2005, Development of Technology to Reduce the Environmental Harmful Materials due to Ships Operating, KORDI Report.
- [8] Kim, E.C. *et al.*, 2008, Development of Technology preparing for International Conventions on Ballast Water Management (5), KORDI Report.
- [9] Kim, E.C., 2012, "Consideration on the ballast water treatment system technology and its development strategies", Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol.15, No.4.
- [10] Kim, E.C. *et al.*, 2014, "Information system to implement the ballast water management convention", Proceedings of the Korean Society for Marine Environment & Energy, Spring of 2014.
- [11] Lee, S.G., Kang, W.S., Kim, E.C., Shin, K.S. and Oh, J.H., 2011a, "Consideration of species-specific risk assessment method of ballast water", Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy, Vol.14, No.4, pp. 293-300.
- [12] Lee, S.G., Kang, W.S., Kim, E.C. and Shin, K.S., 2011b, "Study on the improvement of ballast water risk assessment of global-last", Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy, Vol.14, No.4, pp. 224-229.
- [13] MOMAF, 2013, Preliminary Report on Assessment of the Marine Environment at the Sea Area around Korean Peninsular, Report of Ministry of Maritime Affairs and Fisheries of Korea.
- [14] Oh, J.H. *et al.*, 2013, Development of Monitoring System of Aquatic Harmful Organisms of Ballast Water, KIOST Report.

Received 7 May 2014

Revised 10 July 2014

Accepted 14 July 2014